

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

«Харківський політехнічний інститут»

«Керованість та стійкість руху автомобілів та тракторів»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до курсової роботи

для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

спеціалізації 133.01 «Автомобілі і трактори»

Харків

2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

«Харківський політехнічний інститут»

«Керованість та стійкість руху автомобілів та тракторів»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до курсової роботи

для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

спеціалізації 133.01 «Автомобілі і трактори»

Затверджено
редакційно-видавничою радою
університету,
протокол № 03 від 06.11.2019 р.

Харків
2020

Керованість та стійкість руху автомобілів та тракторів. Методичні вказівки до виконання курсової роботи для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» спеціалізації 133.01 «Автомобілі і трактори» / уклад. Островерх О. О. – Харків: НТУ «ХПІ», 2019. – 30 с.

Укладачі: О. О. Островерх

Рецензент *В. М. Краснокутський, професор.*

Кафедра автомобіле- і тракторобудування

Зміст

Вступ.....	4
1. Структура і об'єм курсової роботи	4
2. Загальні положення.....	8
3. Вимоги до оформлення пояснювальної записки	8
4. Дослідження керованості та стійкості руху автомобілів та тракторів.....	8
Список літератури.....	30

ВСТУП

Курсова робота з курсу «Керованість та стійкість руху автомобілів та тракторів», передбачена навчальним планом зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» спеціалізації «Автомобілі і трактори».

Метою курсової роботи є:

- закріплення знань зі спеціальності;
- придбання навиків самостійної роботи;
- підготовка до виконання випускної кваліфікаційної роботи магістра.

1. СТРУКТУРА І ОБ'ЄМ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Вихідні дані для виконання курсової роботи наведені в табл. 1.1.

Курсова робота містить наступні розділи:

- дослідження залежності кута уводу ведучих коліс від дії бічної сили (до моменту ковзання коліс в бічному напрямку);
- дослідження залежності коефіцієнта опору коченню колеса під час руху з уводом;
- дослідження залежності радіуса повороту від кута уводу коліс;
- дослідження залежності кутової швидкості руху від кута уводу мостів;
- дослідження залежності місця положення центру повороту від кута уводу коліс заднього мосту;
- визначення залежності радіусу повороту і кутової швидкості від кута повороту керованих коліс і швидкості руху при круговому русі;
- визначення залежності кута нахилу кузова від бокового прискорення при русі в повороті;
- дослідження залежності перерозподілу навантажень по бортах від нахилу кузова при русі в повороті.

Таблиця 1.1 – Вихідні дані

Найменування параметру	Позначення	Розмірність	Чисельні значення по варіантах				
			1	2	3	4	5
1. Коефіцієнт опору уводу	K_y	кН/рад	25	20	20	18	25
2. Кут нахилу колеса	α	град.	1,5	2	2	2	1,5
3. Коефіцієнт опору уводу від нахилу коліс	K_x	-	4,5	4	4	5	5
4. Бічна сила діюча на колесо	P_y	кН	$0 \div P_{y\max}$	$0 \div P_{y\max}$	$0 \div P_{y\max}$	$0 \div P_{y\max}$	$0 \div P_{y\max}$
5. Максимальний кут уводу колеса до ковзання	δ_{\max}	град.	19	20	20	18	18
6. Вертикальне навантаження на колесо	P_z	кН	3,57	3,4	3,57	4,5	5,1
7. Коефіцієнт опору коченню шини без уводу	f_0	-	0,02	0,019	0,02	0,02	0,02
8. База машини	L	м	2,8	2,42	2,424	2,5	2,8
9. Кут уводу переднього моста	δ_1	град.	4 - 10	4 - 10	4 - 10	4 - 10	4 - 10
10. Кут уводу заднього моста	δ_2	град.	5 - 10	5 - 10	5 - 10	5 - 10	5 - 10
11. Кут повороту керованих коліс	Θ	град.	10	10	10	10	10
12. Маса машини	m_a	кг	1800	1345	1430	1450	2040
13. Швидкість руху машини	V	км/год	20 - 80	20 - 80	20 - 80	20 - 80	20 - 80
14. Кут відхилення керованих коліс	Θ_l	град.	5 - 10	5 - 10	5 - 10	5 - 10	5 - 10
15. Маса кузова	m_k	кг	1566	1170	1244	2753	1775
16. Висота центра мас машини	h_g	м	0,65	0,63	0,62	0,75	0,66
17. Висота центра мас кузова	h_k	м	0,745	0,72	0,71	0,79	0,75
18. Відстань від центру мас до переднього моста машини	a	м	1,54	1,33	1,33	1,45	1,54
19. Відстань від центру мас до заднього моста машини	b	м	1,26	1,09	1,094	1,05	1,26
20. Бокове прискорення	a_y	м/с ²	1 - 8	1 - 8	1 - 8	1 - 8	1 - 8
21. Колія передніх коліс	B	м	1,47	1,349	1,365	1,4	1,47
22. Відстань між ресорами	B_p	м	1,11	1,03	1,046	1,1	1,11
23. Сумарна жорсткість передньої підвіски	C_{p1}	кН/м	44,6	42	42,3	57,4	45,4
24. Сумарна жорсткість задньої підвіски	C_{p2}	кН/м	45,2	36	37,4	55,1	46,5
25. Коефіцієнт жорсткості ресори	η_p	-	1,2	1,15	1,15	1,15	1,15

Продовження таблиці 1.1

Найменування параметру	Позначення	Розмірність	Чисельні значення по варіантах				
			6	7	8	9	10
1. Коефіцієнт опору уводу	K_y	кН/рад	30	30	35	35	70
2. Кут нахилу колеса	x	град.	2	2	1,5	2	2
3. Коефіцієнт опору уводу від нахилу коліс	K_x	-	5	5	4,5	4,5	5,5
4. Бічна сила діюча на колесо	P_y	кН	$0 \div P_{y\max}$	$0 \div P_{y\max}$	$0 \div P_{y\max}$	$0 \div P_{y\max}$	$0 \div P_{y\max}$
5. Максимальний кут уводу колеса до ковзання	δ_{\max}	град.	19	18	20	18	18
6. Вертикальне навантаження на колесо	P_z	кН	6,65	7,91	7,71	7,2	9,5
7. Коефіцієнт опору коченню шини без уводу	f_0	-	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
8. База машини	L	м	3,25	3,45	3,88	3,3	3,3
9. Кут уводу переднього моста	δ_1	град.	4 – 10	4 – 10	4 – 10	4 – 10	4 – 10
10. Кут уводу заднього моста	δ_2	град.	5 -10	5 -10	5 -10	5 -10	5 -10
11. Кут повороту керованих коліс	Θ	град.	10	10	10	10	10
12. Маса машини	m_a	кг	2660	3165	3085	2880	5465
13. Швидкість руху машини	V	км/год	20 - 80	20 - 80	20 - 80	20 - 80	20 - 60
14. Кут відхилення керованих коліс	Θ_l	град.	5 – 10	5 – 10	5 – 10	5 – 10	5 – 10
15. Маса кузова	m_k	кг	2314	2753	2685	2505	4754
16. Висота центра мас машини	h_g	м	0,74	0,72	0,71	0,7	0,92
17. Висота центра мас кузова	h_k	м	0,81	0,79	0,77	0,76	1,07
18. Відстань від центру мас до переднього моста машини	a	м	1,65	1,76	1,98	1,68	2,3
19. Відстань від центру мас до заднього моста машини	b	м	1,6	1,69	1,9	1,62	1,0
20. Бокове прискорення	a_y	м/с ²	1 – 8	1 – 8	1 – 8	1 – 8	1 – 8
21. Колія передніх коліс	B	м	1,54	1,58	1,603	1,603	1,65
22. Відстань між ресорами	B_p	м	1,174	1,105	1,133	1,133	1,21
23. Сумарна жорсткість передньої підвіски	C_{p1}	кН/м	56,2	57,4	53,4	52,1	120
24. Сумарна жорсткість задньої підвіски	C_{p2}	кН/м	58	55,1	56,1	54,3	580
25. Коефіцієнт жорсткості ресори	η_p	-	1,25	1,25	1,15	1,15	1,15

Продовження таблиці 1.1

Найменування параметру	Позначення	Розмірність	Чисельні значення по варіантах				
			11	12	13	14	15
1. Коефіцієнт опору уводу	K_y	кН/рад	70	85	100	75	20
2. Кут нахилу колеса	x	град.	2	2	2	2	2
3. Коефіцієнт опору уводу від нахилу коліс	K_x	-	5,5	6	6	5,5	4
4. Бічна сила діюча на колесо	P_y	кН	$0 \div P_{y\max}$	$0 \div P_{y\max}$	$0 \div P_{y\max}$	$0 \div P_{y\max}$	$0 \div P_{y\max}$
5. Максимальний кут уводу колеса до ковзання	δ_{\max}	град.	18	18	17	18	19
6. Вертикальне навантаження на колесо	P_z	кН	12,95	22,1	26	14,9	3,61
7. Коефіцієнт опору коченню шини без уводу	f_0	-	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
8. База машини	L	м	3,7	4,41	5,3	3,3	2,4
9. Кут уводу переднього моста	δ_1	град.	4 – 10	4 – 10	4 – 10	4 – 10	4 – 10
10. Кут уводу заднього моста	δ_2	град.	5 -10	5 -10	5 -10	5 -10	5 -10
11. Кут повороту керованих коліс	Θ	град.	10	10	10	10	10
12. Маса машини	m_a	кг	7400	17175	19525	5970	1445
13. Швидкість руху машини	V	км/год	20 - 60	20 – 60	20 - 60	20 – 60	20 – 80
14. Кут відхилення керованих коліс	Θ_l	град.	5 – 10	5 – 10	5 – 10	5 – 10	5 – 10
15. Маса кузова	m_k	кг	6440	14942	16986	5194	1257
16. Висота центра мас машини	h_g	м	0,99	1,19	1,47	1,2	0,7
17. Висота центра мас кузова	h_k	м	1,11	1,87	2,06	1,26	0,74
18. Відстань від центру мас до переднього моста машини	a	м	2,59	3,08	3,7	1,49	1,3
19. Відстань від центру мас до заднього моста машини	b	м	1,11	1,33	1,6	1,81	1,1
20. Бокове прискорення	a_y	м/с ²	1 – 8	1 – 8	1 – 8	1 – 8	1 – 8
21. Колія передніх коліс	B	м	1,63	1,835	2,16	1,8	1,27
22. Відстань між ресорами	B_p	м	1,21	1,315	1,2	1,22	1,01
23. Сумарна жорсткість передньої підвіски	C_{p1}	кН/м	184	397	410	253	40,6
24. Сумарна жорсткість задньої підвіски	C_{p2}	кН/м	720	1436	1630	210	47,2
25. Коефіцієнт жорсткості ресори	η_p	-	1,15	1,2	1,2	1,2	1,15

2. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Пояснювальна записка повинна містити і бути зброшурована в такій послідовності

Мета роботи – дослідження залежності кута уводу коліс самохідної машини і коефіцієнту опору кочення від впливу бокових сил:

- титульний аркуш, який виконують за відповідним стандартом на
- визначений документ;
- реферат;
- зміст;
- перелік познач та скорочень (за наявності);
- вступ;
- основну частину;
- висновки;
- список джерел інформації;
- додатки (за наявності).

3. ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ

Записка виконується строго відповідно до СТЗВО-ХПІ-3.01-2018 на аркушах друкарського паперу формату А4 (297 x 210) мм по ГОСТ 9327. Під час виконання таблиць, ілюстрацій та додатків дозволено використовувати формат А3 (297 x 420) мм. Аркуш формату А3 підшивається по стороні 297 мм та складається до формату А4.

4. ДОСЛІДЖЕННЯ КЕРОВАНOSTІ ТА СТІЙКОСТІ РУХУ АВТОМОБІЛІВ ТА ТРАКТОРІВ

4.1 Дослідження залежності кута уводу ведучих коліс автомобіля від дії бічної сили (до моменту ковзання коліс в бічному напрямку).

Для еластичної шини, під дією бокової сили, відбувається деформація елементів, розташованих між ободом і плоскістю контакту.

Внаслідок цього колесо рухається одночасно в двох площинах: в площині обертання і в площині, перпендикулярній площині обертання.

Розрахунок кута уводу ведучих коліс автомобіля від дії бокової сили.

Вихідні дані наведені в табл.4.1:

Коефіцієнтом опору уводу колеса $K_y = 25$, кН/рад;

Коефіцієнт опору уводу від нахилу коліс $K_x = 4,5$;

База машини $L = 2,8$ м;

Швидкість руху машини $V = 85$ км/год.

Відношення бокової сили до кута уводу називається коефіцієнтом опору уводу колеса:

$$K_y = P_y / \delta.$$

Максимальна бокова сила, що діє на колесо, кН:

$$P_{y\max} = K_y \cdot \delta_{\max} = 8,29.$$

При $i = 0..9$, $P_y = [0,1,2,3,4,5,6,7,8,2,29]$

Максимальний кут уводу колеса, град:

$$\delta_{\max} = 19 \cdot \frac{\pi}{180}.$$

Кут нахилу колеса:

$$x = 1,5 \cdot \frac{\pi}{180}.$$

Кут уводу колеса, яке навантажено боковою силою і має розвал, визначається як сума кутів уводу від бічної сили і від розвалу:

$$\delta_{\varepsilon} = P_y / K_y + x / K_x.$$

Результати розрахунку кута уводу колеса, в табл. 4.1

Таблиця 4.1 – Кут уводу колеса

$\delta_{\varepsilon i}$	0,33	2,62	4,91	7,2	9,5	11,79	14,08	16,37	18,68	19,33
--------------------------	------	------	------	-----	-----	-------	-------	-------	-------	-------

Графік залежності кута уводу від бокової сили представлений на рис.4.1

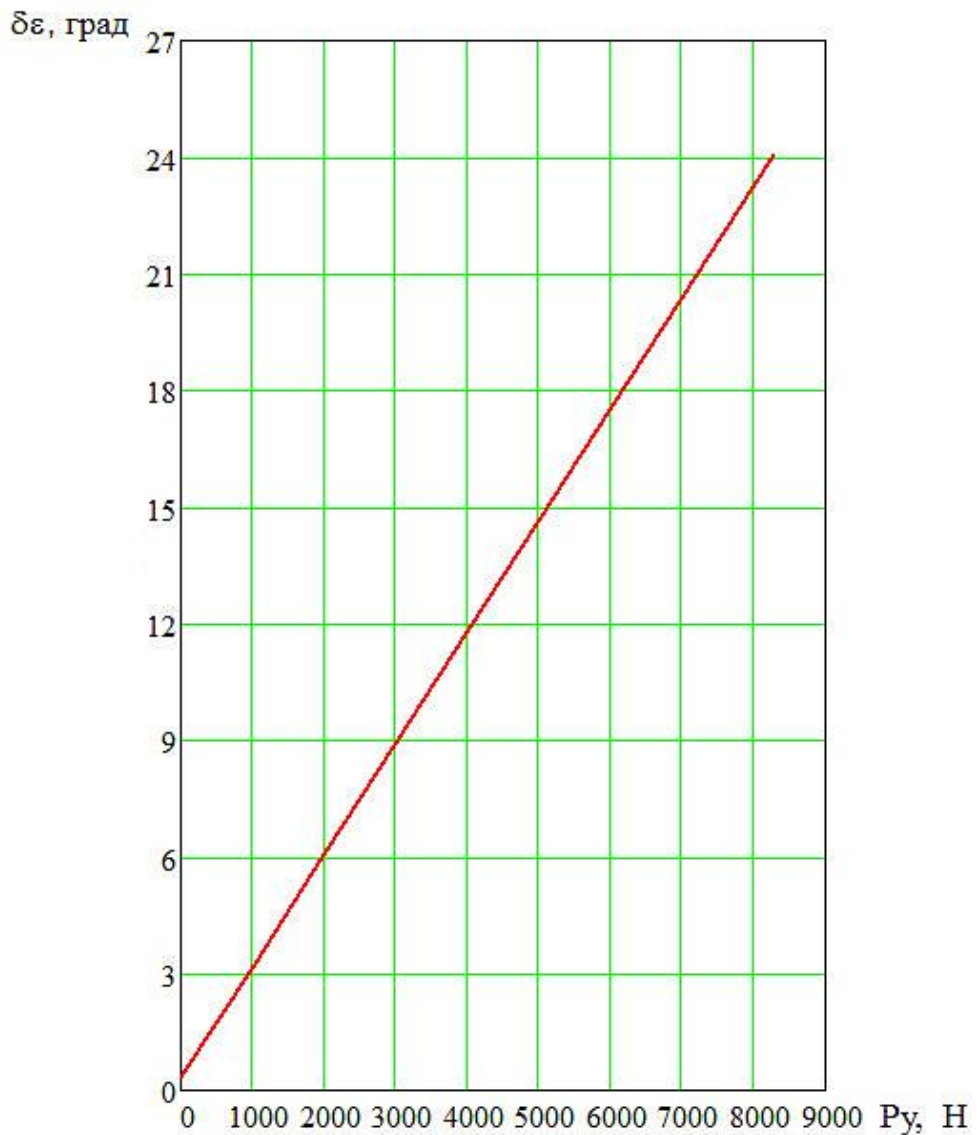


Рисунок 4.1 – Графік залежності кута уводу від бокової сили

4.2 Дослідження залежності коефіцієнта опору коченню колеса під час руху з уводом.

При коченні шини з боковим уводом, крім радіальної деформації елементів шини, має місце також їх деформація в боковому напрямку. Внаслідок цього опір коченню шини при боковому уводі збільшується.

Розрахунок коефіцієнта опору коченню шини, яка котиться з уводом, визначається за емпіричною формулою:

$$f_i = f_o + \frac{K_y \cdot (\delta_{\epsilon i})^2}{P_z},$$

де f_0 – коефіцієнт опору коченню шини без уводу, рівний 0,02;

P_z – вертикальне навантаження на колесо, рівна 3,57 кН.

Результати розрахунку наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Коефіцієнт опору коченню шини

f_i	0,02	0,03	0,07	0,13	0,21	0,31	0,44	0,59	0,76	0,81
-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Графік залежності коефіцієнта опору коченню колеса від бокової сили представлений на рис.4.2.

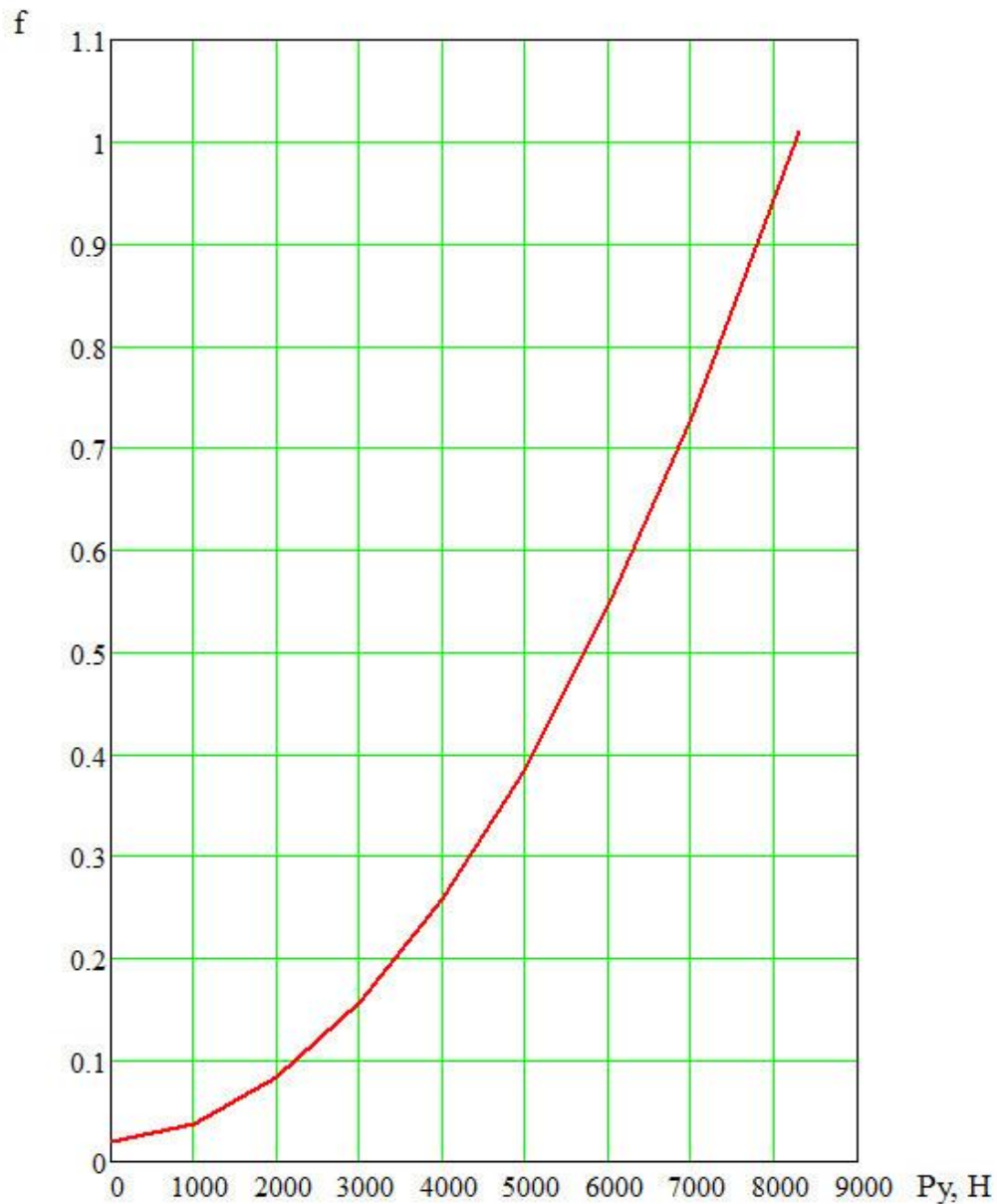


Рисунок 4.2 – Графік залежності коефіцієнта опору коченню колеса від бокової сили

4.3 Дослідження залежності радіуса повороту автомобіля від кута уводу коліс.

При русі автомобіля в повороті виникають інерційні сили, і мости машини починають рухатися з боковим уводом. Внаслідок цього вектор миттєвих швидкостей центрів мостів не перпендикулярні до їх вісей, а відхиляються на кути, рівні кутам уводу. Відповідно миттєвий центр повороту переміщається в іншу точку, до зміни радіуса повороту.

Розрахунок залежності радіуса повороту автомобіля від кута уводу коліс.

Значення радіуса повороту можна визначити за формулою:

$$R = \frac{L}{\operatorname{tg} \Theta + \operatorname{tg}(\delta_2 - \delta_1)},$$

де L - база машини, 2,8 м;

θ - кут повороту керованого колеса, рад;

δ_l - кут уводу коліс переднього моста, рад;

δ_l - кут уводу коліс заднього моста, рад.

Беручи до уваги те, що кути уводу мають малу величину, то тангенси кутів можна замінити значеннями самих кутів. У цьому випадку радіус повороту:

$$R = \frac{L}{\Theta + \operatorname{tg}(\delta_2 - \delta_1)}.$$

Для переднього моста при $i=0..6$:

Результати розрахунку наведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Коефіцієнт опору коченню шини

R_i	14,58	16,04	17,82	20,05	22,91	26,73	32,08
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Графік залежності радіуса повороту від кута уводу коліс переднього моста представлений на рис.4.3

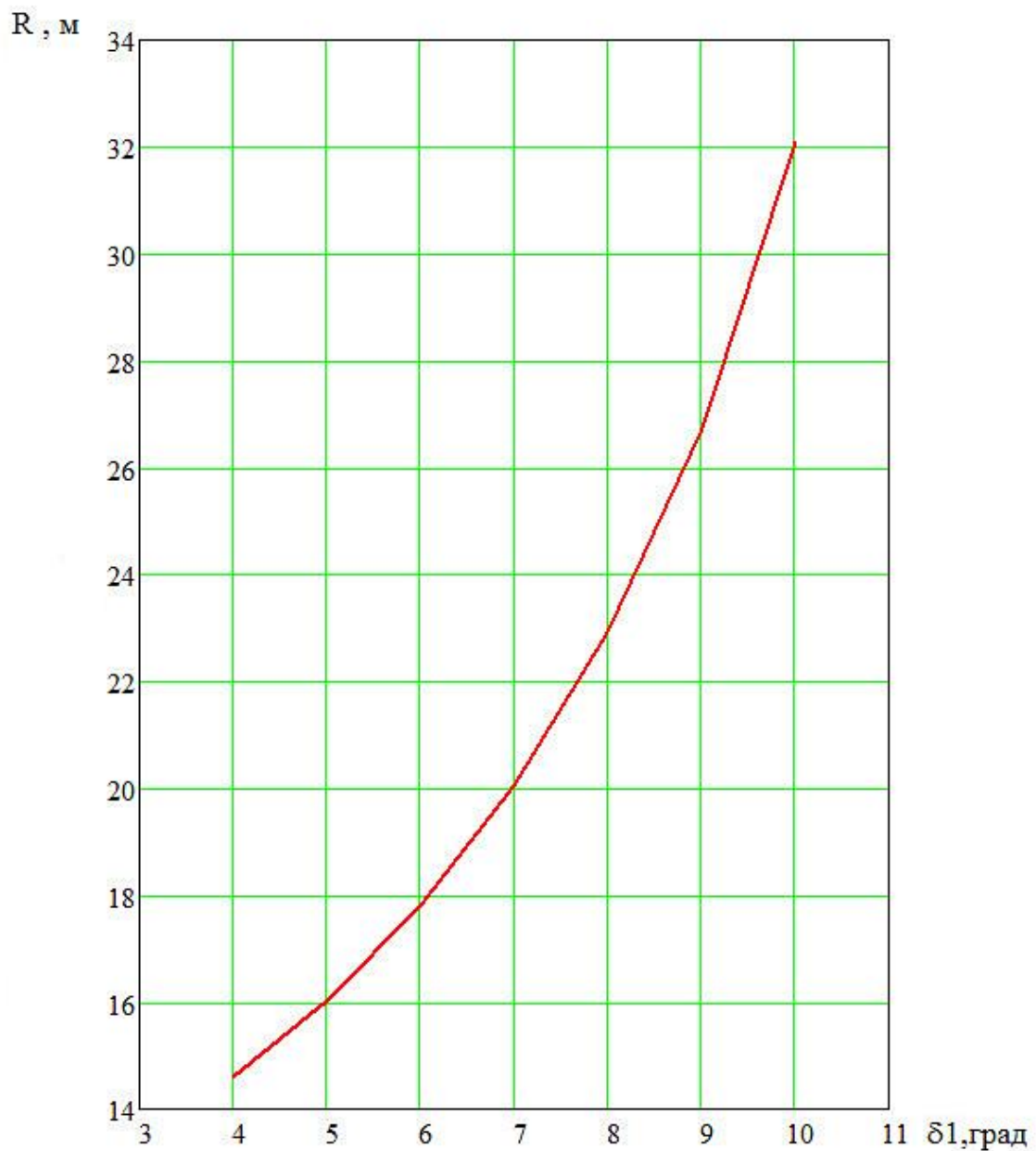


Рисунок 4.3 - Графік залежності радіусу повороту від кута уводу коліс переднього моста

Для заднього моста при $j=0..5$:

Результати розрахунку наведені в табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Коефіцієнт опору коченню шини

R_j	14,58	13,36	12,34	11,45	10,69	10,02
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Графік залежності радіусу повороту від кута уводу коліс заднього моста представлений на рис.4.4

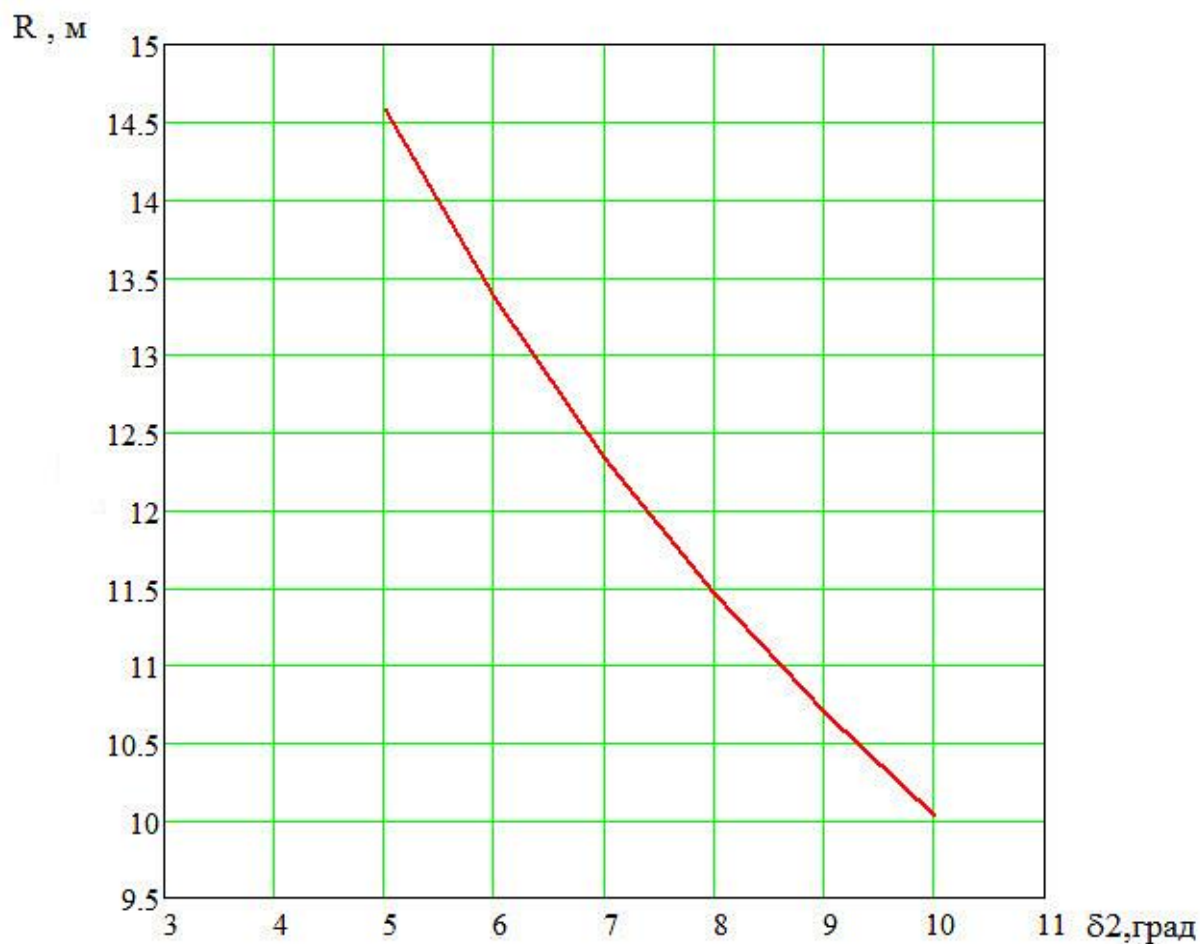


Рисунок 4.4 – Графік залежності радіусу повороту від кута уводу коліс заднього моста

4.4 Дослідження залежності кутової швидкості руху автомобіля від кута уводу мостів.

Розрахунок кутової швидкості руху автомобіля від кута уводу мостів
Кутова швидкість машини визначається за формулою, рад/с:

$$\omega = \frac{V}{R},$$

де V – швидкість руху машини, м/с.

Дану формулу можна перетворити і вона буде мати вигляд:

$$\omega = \frac{V(\Theta + \delta 2 - \delta 1)}{L}.$$

Для переднього моста при i=0..6.

Результати розрахунку наведені в табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – Коефіцієнт опору коченню шини

ω_i	1,52	1,38	1,24	1,1	0,97	0,83	0,69
------------	------	------	------	-----	------	------	------

Графік залежності кутової швидкості машини від кута уводу коліс переднього моста представлений на рис. 4.5.

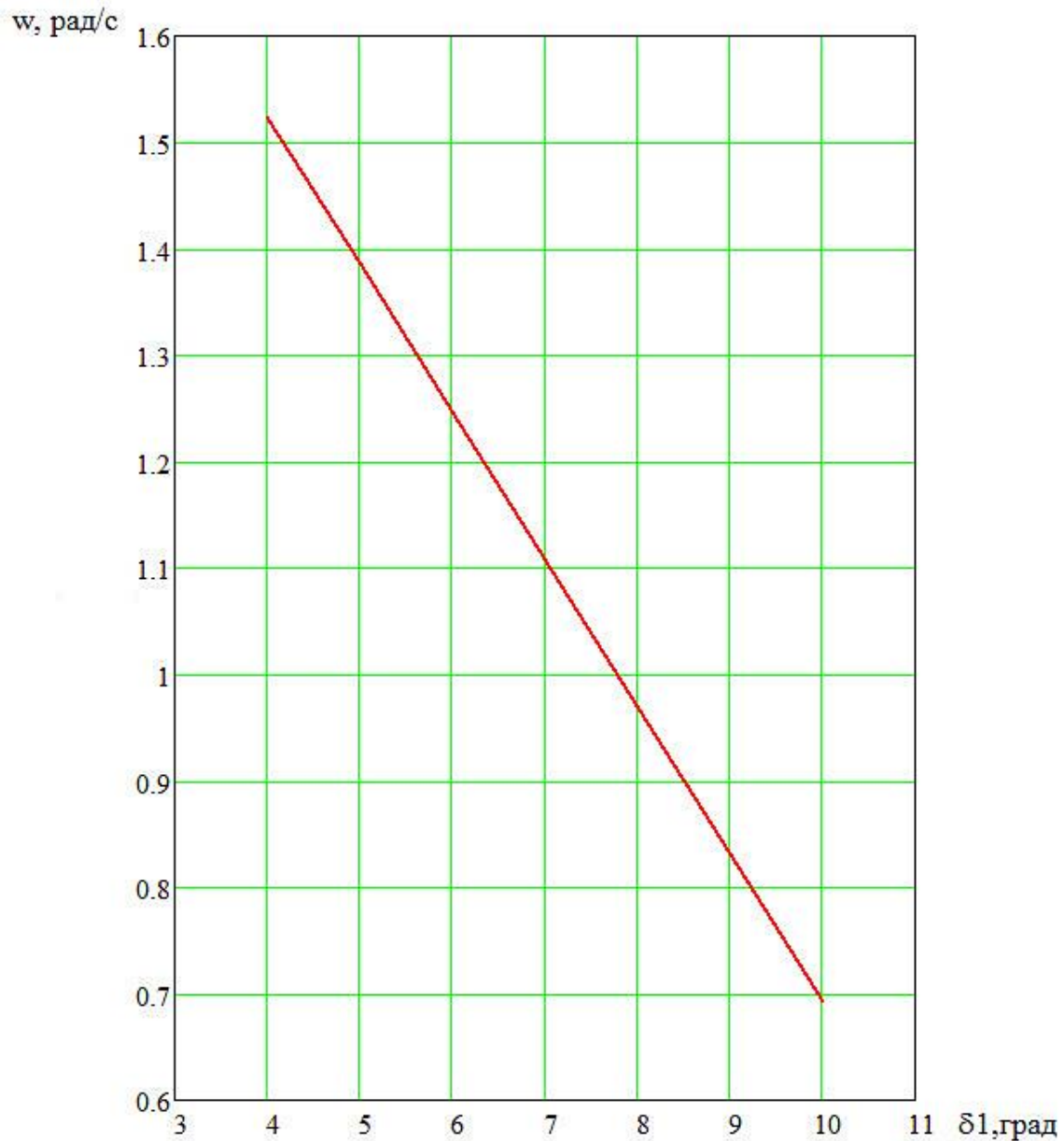


Рисунок 4.5 – Графік залежності кутової швидкості машини від кута уводу коліс переднього моста

Для заднього моста при $j=0..5$:

Результати розрахунку наведені в табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Коефіцієнт опору коченню шини

ω_j	1,52	1,38	1,24	1,1	0,97	0,83
------------	------	------	------	-----	------	------

Графік залежності кутової швидкості машини від кута уводу коліс заднього моста представлений на рис. 4.6.

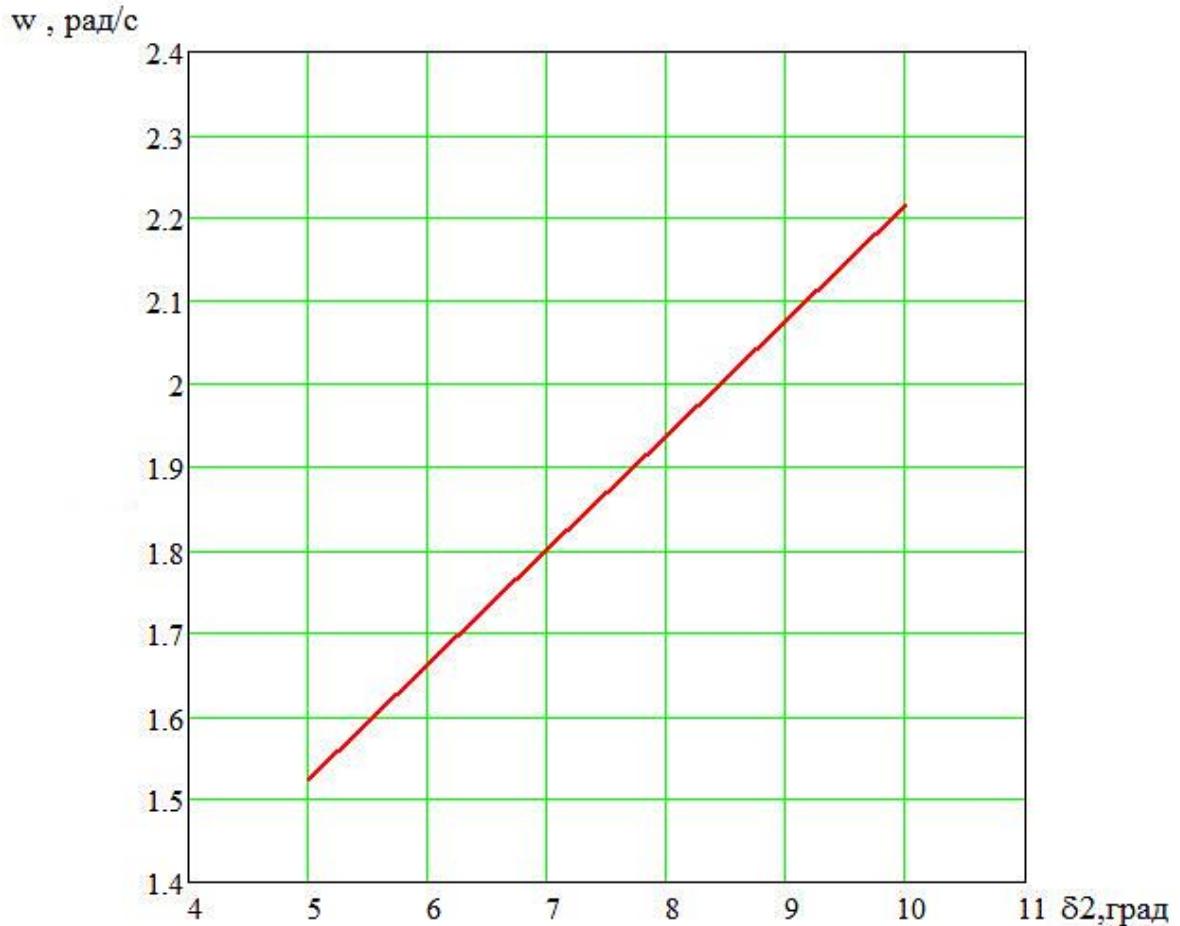


Рисунок 4.6 – Графік залежності кутової швидкості машини від кута уводу коліс заднього моста

4.5 Дослідження залежності місця положення центру повороту автомобіля від кута уводу коліс заднього мосту

Розрахунок залежності місця положення центру повороту автомобіля від кута уводу коліс заднього моста.

В залежності від співвідношення кутів уводу переднього і заднього мостів радіус повороту самохідної машини може дорівнювати радіусу повороту при русі машини без уводу ($\delta_1 = \delta_2$), бути меншим ($\delta_1 < \delta_2$), або

більшим ($\delta_1 > \delta_2$). Зміщення центру повороту завжди відбувається всередину бази машини:

$$C = R \cdot \delta 2, \quad (5.2)$$

де C – зміщення центру повороту, м.

На рис. 4.7 приведена схема зміщення центру повороту самохідної машини при русі з високими швидкостями.

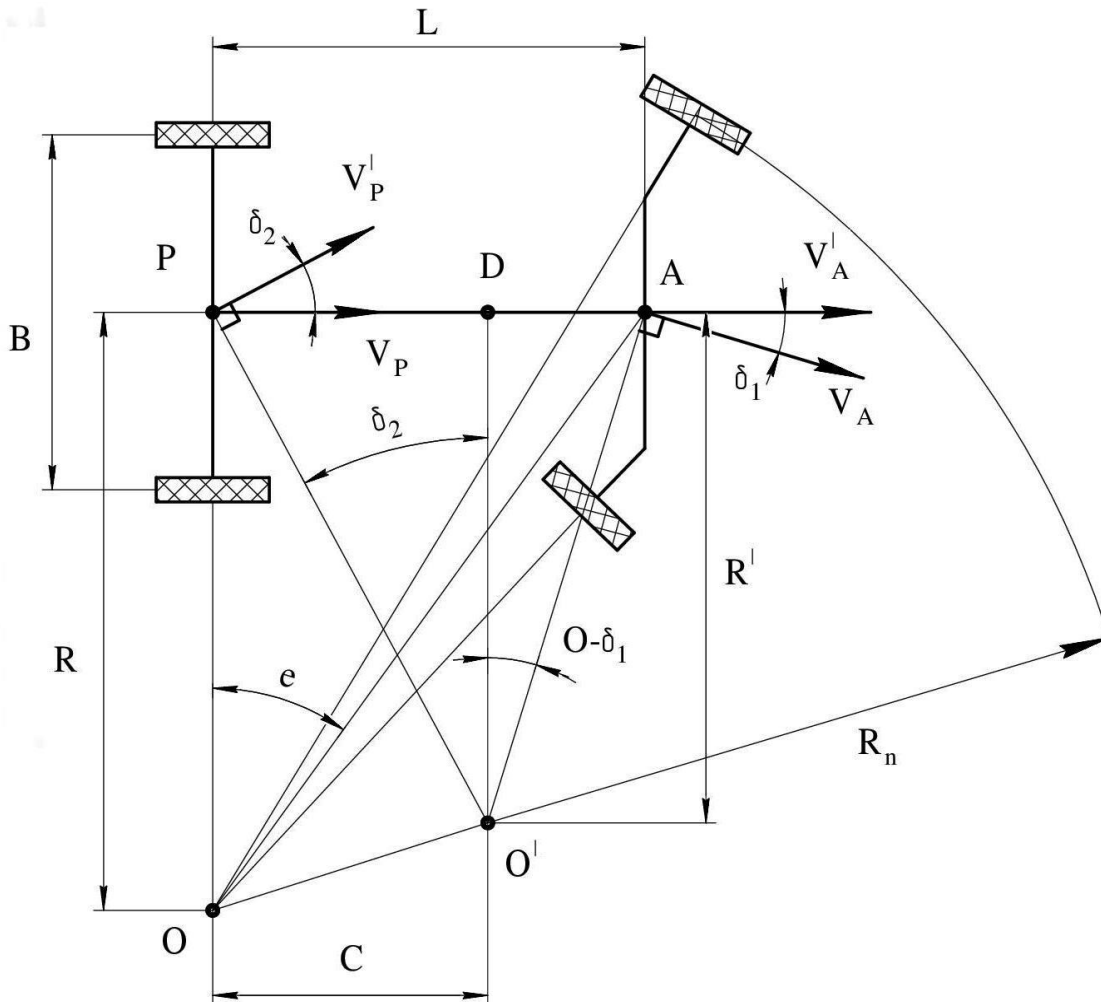


Рисунок 4.7 – Схема зміщення центру повороту самохідної машини при русі з високими швидкостями.

Для переднего моста при $i=0..5$.

Результати розрахунку наведені в табл. 4.7.

Таблиця 4.7 – Коефіцієнт опору коченню шини

C_i	1,27	1,68	2,18	2,8	3,6	4,66
-------	------	------	------	-----	-----	------

Графік залежності розташування центру повороту автомобіля від кута уводу переднього моста представлений на рис.4.8.

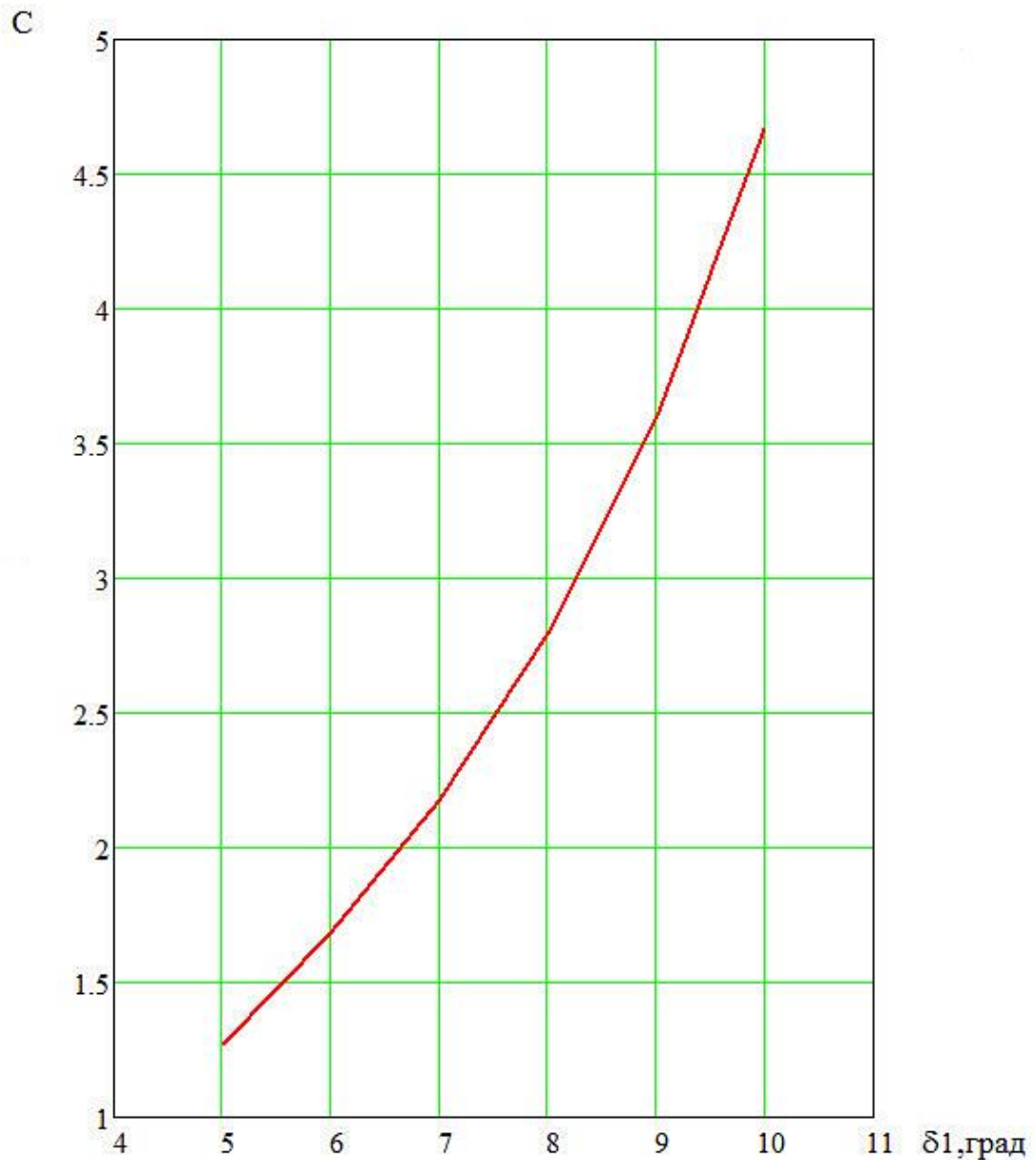


Рисунок 4.8 – Графік залежності розташування центру повороту автомобіля від кута уводу переднього моста

Для заднього моста при $j=0..5$:

Результати розрахунку наведені в табл. 4.8.

Таблиця 4.8 – Коефіцієнт опору коченню шини

C_j	1,27	1,4	1,5	1,6	1,68	1,75
-------	------	-----	-----	-----	------	------

Графік залежності розташування центру повороту автомобіля від кута уводу заднього моста представлений на рис.4.9.

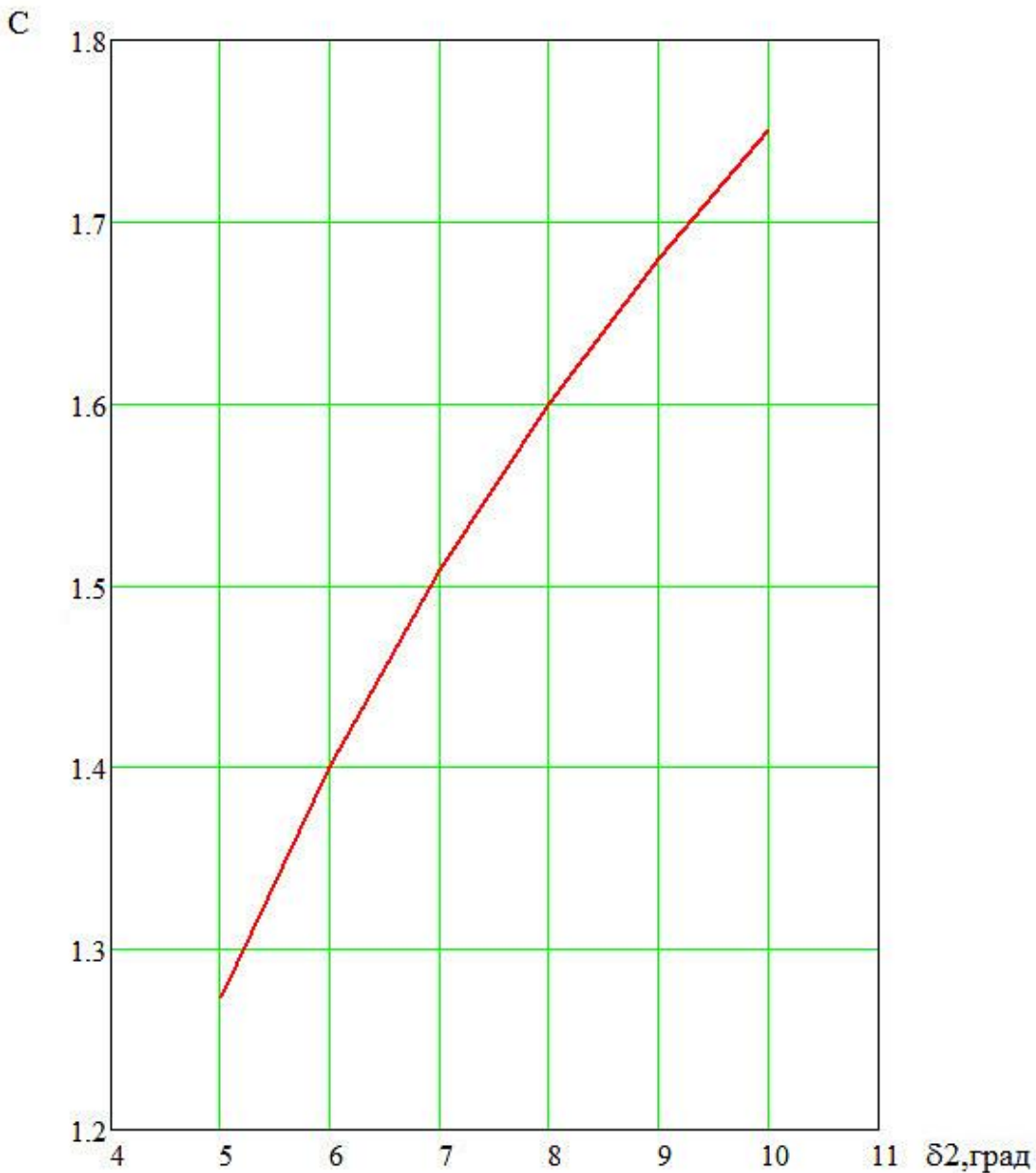


Рисунок 4.9 – Графік залежності розташування центру повороту автомобіля від кута уводу заднього моста

4.6 Визначення залежності радіусу повороту і кутової швидкості від кута повороту керованих коліс і швидкості руху автомобіля при його круговому русі.

Розрахунок радіусу повороту і кутової швидкості від кута повороту керованих коліс і швидкості руху автомобіля при його круговому русі.

При дослідженні кругового руху самохідної машини будемо виходити з умови, що рух машини відбувається з постійною швидкістю, тобто $V = \text{const}$. При цьому: $\dot{\theta} = 0$, $\dot{\omega}_a = 0$, $\ddot{\omega}_a = 0$, тепер рівняння, що описує круговий рух самохідної машини набуде вигляду:

$$p \cdot \omega_a = q \cdot \theta.$$

Підставами в даний вираз значення p і q отримаємо:

$$\omega_a = \frac{V \cdot \theta}{L + V^2 \cdot \frac{\xi_2 - \xi_1}{g \cdot \xi_1 \cdot \xi_2}} = \frac{V \cdot \theta}{L + V^2 \cdot \left(\frac{m_{a2}}{k_{y2}} - \frac{m_{a1}}{k_{y1}} \right)}.$$

Оскільки $\omega_a = V/R$, то значення радіуса повороту буде визначатися виразом:

$$R = \frac{V}{\omega_a} = \frac{L + V^2 \left(\frac{m_{a2}}{k_{y2}} - \frac{m_{a1}}{k_{y1}} \right)}{\theta},$$

де $\frac{m_{a2}}{k_{y2}} - \frac{m_{a1}}{k_{y1}} = -k_{nv}$ - коефіцієнт обертання.

Тоді аналітичні вирази приймуть вид:

$$\omega_a = \frac{V \cdot \theta}{L - k_{nv} \cdot V^2};$$

$$R = \frac{L - k_{nv} \cdot V^2}{\theta}.$$

Якщо $k_{nv} = 0$, то зі збільшенням швидкості V радіус R зменшується, а швидкість ω_a збільшується. При $k_{nv} < 0$ збільшення швидкості V призводить до збільшення радіусу R і зменшення кутової швидкості ω_a .

Якщо $k_{nv} = 0$, то радіус R не залежить від швидкості V , а кутова швидкість ω_a пропорційна їй.

Результати розрахунку кутових швидкостей наведені в табл. 4.9.

Таблиця 4.9 – Кутова швидкість

$\omega_{ai,j}$	0,12	0,086	0,114	0,12	0,151	0,188	0,172
-----------------	------	-------	-------	------	-------	-------	-------

Результати розрахунку радіусів повороту наведені в табл. 4.10.

Таблиця 4.10 – Радіус повороту

$R_{i,j}$	46,233	258,439	171,156	184,6	161,525	114,104	129,22
-----------	--------	---------	---------	-------	---------	---------	--------

Графік залежності кутової швидкості від швидкості руху автомобіля і кута повороту керованих коліс представлений на рис.4.10 і рис.4.11 відповідно.

$\omega_a, \text{рад/с}$

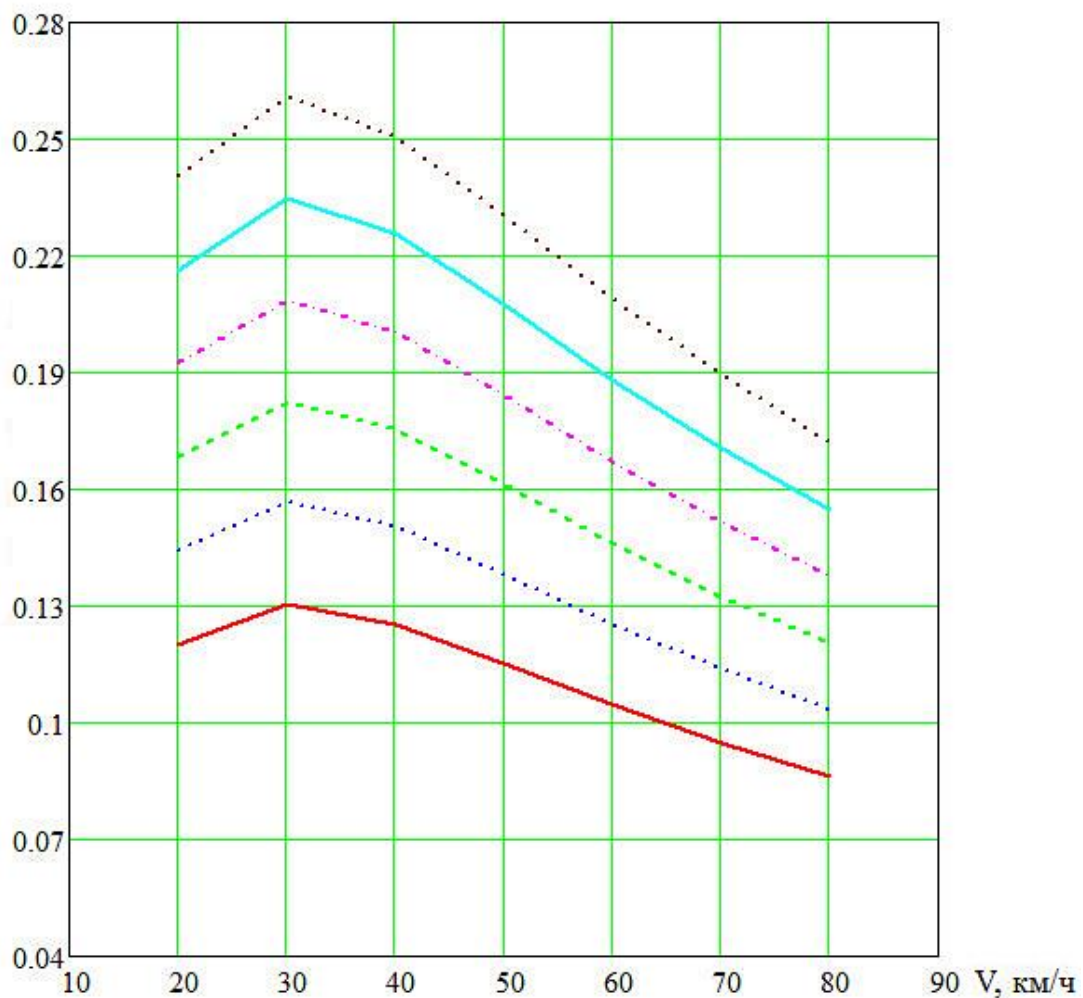


Рисунок 4.10 – Графік залежності кутової швидкості від швидкості руху автомобіля

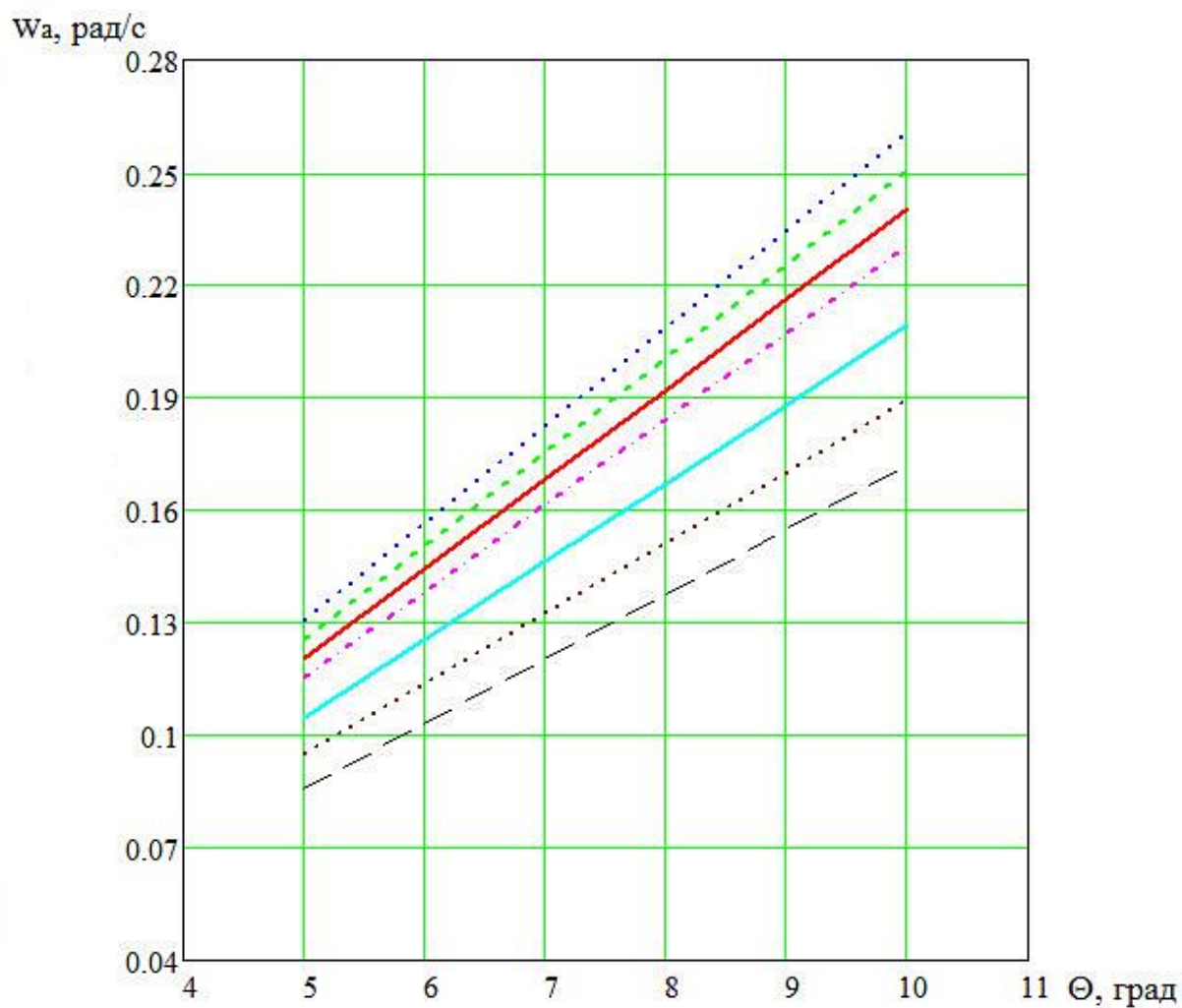


Рисунок 4.11 – Графік залежності кутової швидкості від кута повороту керованих коліс

Графік залежності радіусу повороту від швидкості руху автомобіля і кута повороту керованих коліс представлений на рис.4.12 і рис.4.13 відповідно.

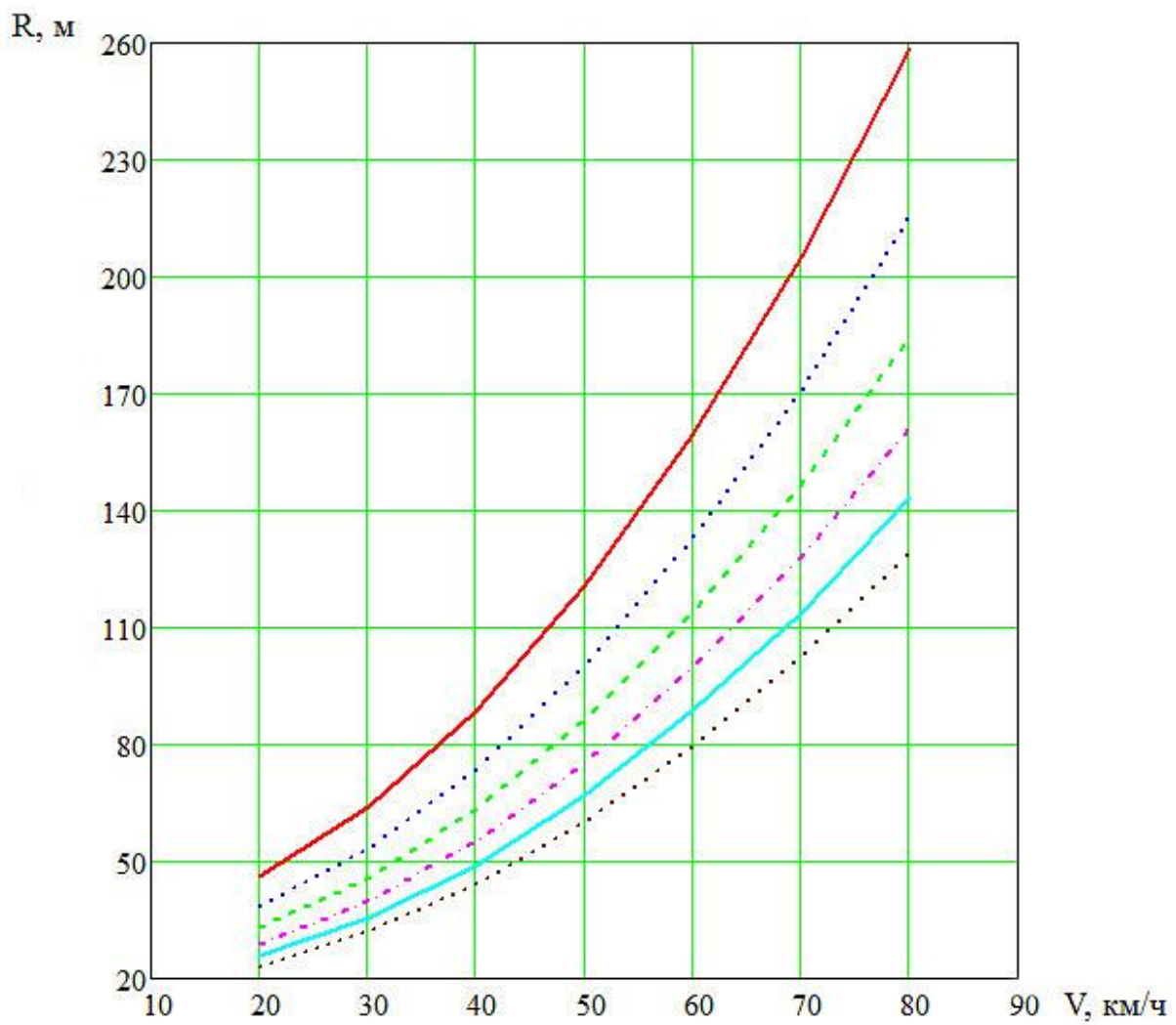


Рисунок 4.12 – Графік залежності радіусу повороту від швидкості руху автомобіля.

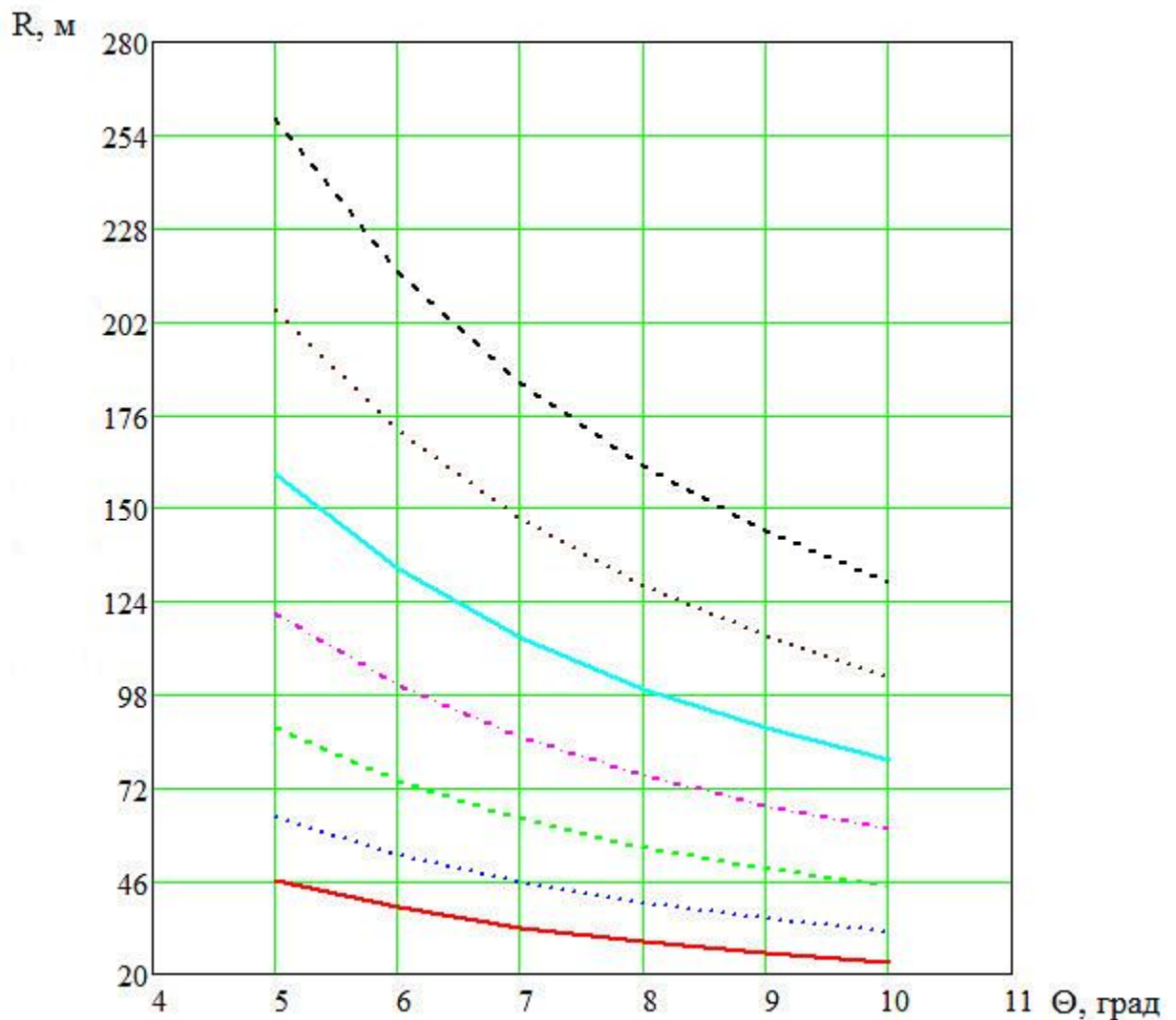


Рисунок 4.13 – Графік залежності радіусу повороту від кута повороту керованих коліс

4.7 Визначення залежності кута нахилу кузова від бокового прискорення при русі автомобіля в повороті.

Розрахунок кута нахилу кузова від бокового прискорення при русі автомобіля в повороті

При дослідженні руху самохідної машини в повороті з креном кузова на першому етапі передній і задній міст об'єднуються в один. Нормальні реакції R''_z і R'_z є нормальними сумарними реакціями, що діють на зовнішні і внутрішні колеса машини.

Під дією бічної сили P_k прикладеної в центрі кузова, кузов відхиляється на кут λ .

Візьмемо суму моментів сил діючих на кузов відносно точки крену М:

$$P_y^k \cdot h_\lambda \cdot \cos \lambda + G_k \cdot h_\lambda \cdot \sin \lambda = C_\lambda \cdot \lambda,$$

Приймаючи до уваги, що кути нахилу кузова не великі, то $\cos \lambda = 1$, $\sin \lambda = \lambda$, тоді отримаємо:

$$\lambda = \frac{P_y^k \cdot h_\lambda}{C_\lambda - G_k \cdot h_\lambda},$$

де λ - кут крену кузова, рад;

P_y^k - бічна сила, прикладена в центрі кузова, Н;

h_λ - плече крену, м;

C_λ - кутова жорсткість підвіски, Н/рад;

G_k - вага кузова, Н.

$$P_y^k = m_k \cdot a_y,$$

де m_k - маса кузова, кг;

a_y - бокове прискорення, м/с².

Кутова жорсткість залежно від типу підвіски визначається по наступних формулах, Н/рад:

а) для залежних підвісок

$$C_{\lambda 2} = 0,5 \cdot \eta_p \cdot c_p \cdot B_p^2 = 0,5 \cdot 1,2 \cdot 1,11^2 \cdot 45200 = 3,341 \cdot 10^4,$$

де η_p - коефіцієнт, який враховує збільшення жорсткості пружних

елементів при їх скручуванні;

C_p - вертикальна жорсткість пружних елементів, Н/м;

B_p - відстань між пружними елементами, м.

б) для незалежних підвісок

$$C_{\lambda 1} = 0,5 \cdot c_{np} \cdot B^2 = 0,5 \cdot 1,47^2 \cdot 44600 = 4,819 \cdot 10^4,$$

де B – колія машини, м;

C_{np} - приведена жорсткість пружних елементів, Н/м.

Сумарна кутова жорсткість підвісок всіх вісей машини:

$$C_{\lambda} = C_{\lambda 1} + C_{\lambda 2} = 8,16 \cdot 10^4.$$

Схема сил діючих на автомобілі в повороті представлена на рис.4.14.

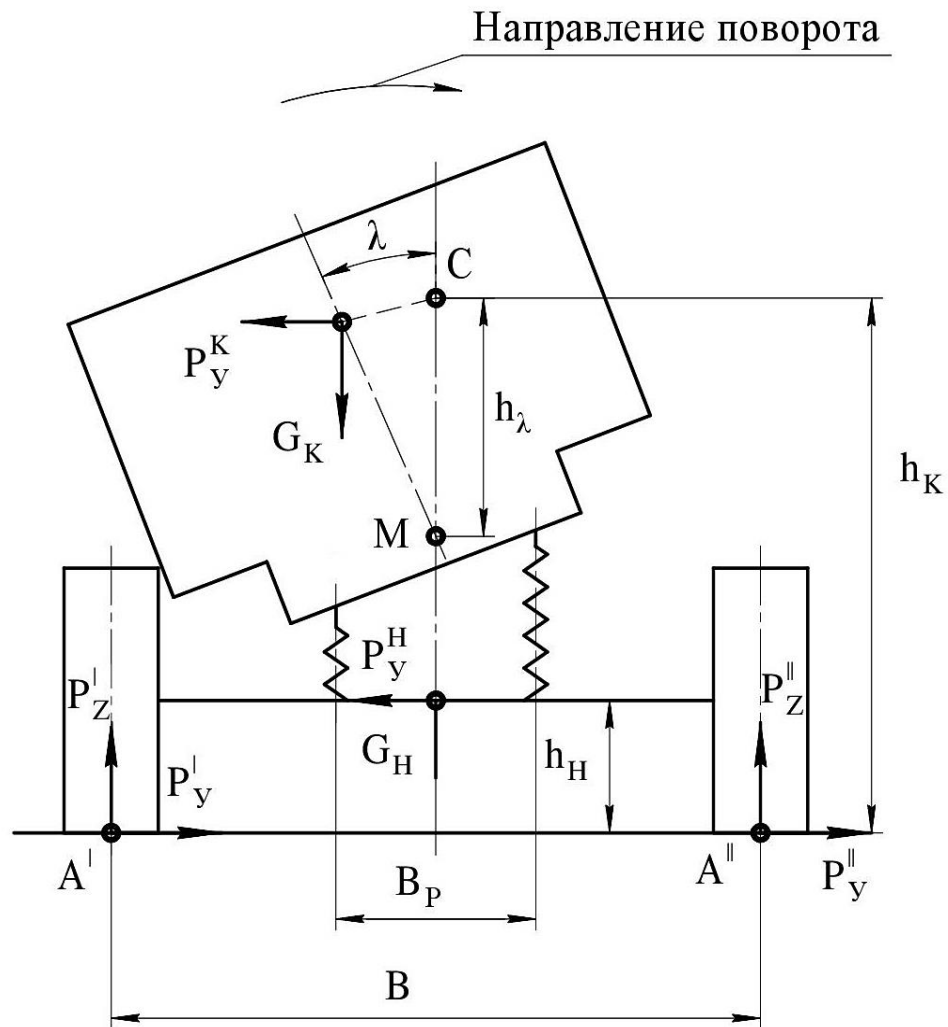


Рисунок 4.14 – Схема сил діючих на автомобілі в повороті.

Результати розрахунку бічної сили і кут нахилу кузова наведені в табл. 4.11.

Таблиця 4.11 – результати розрахунків

$P_{ук,j} \cdot 10^3$	1,566	3,132	4,698	6,264	7,83	9,396	1,096	1,253
λ_i	0,953	1,906	2,858	3,811	4,764	5,717	6,67	7,622

Графік залежності кута нахилу кузова від бокового прискорення при русі автомобіля в повороті показаний на рис.4.15.

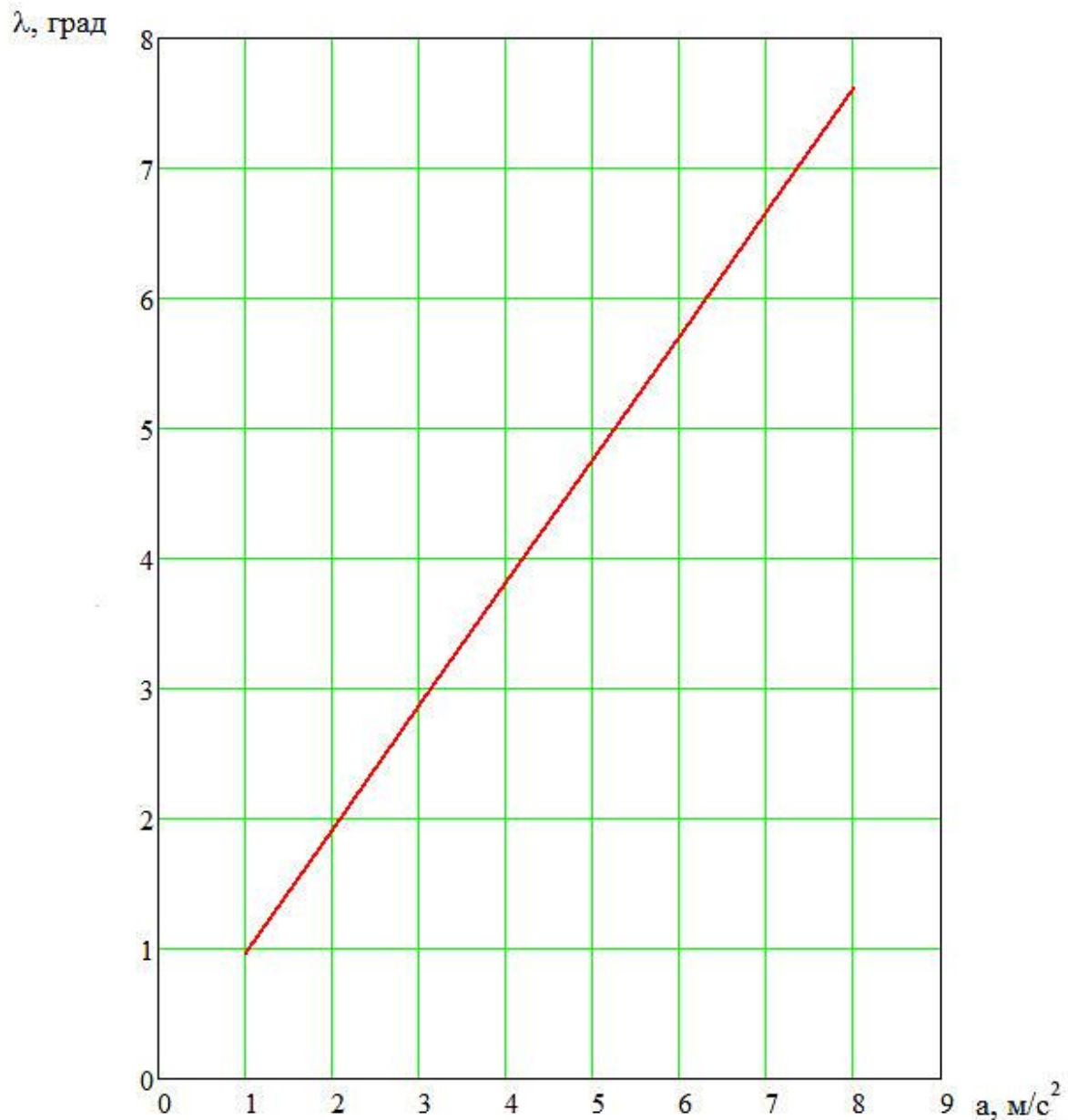


Рисунок 4.15 – Графік залежності кута нахилу кузова від бокового прискорення при русі автомобіля в повороті.

4.8 Дослідження залежності перерозподілу навантажень по бортах від нахилу кузова при русі автомобіля в повороті

Розрахунок перерозподілу навантажень по бортах кузова при русі автомобіля в повороті

При крені кузова центр мас кузова переміститься в нове положення, що викличе перерозподіл навантажень між зовнішніми і внутрішніми колесами.

Сумарна реакція під внутрішніми колесами буде визначатися виразом:

$$R''_z = m_a \cdot \left(\frac{g}{2} - a_y \cdot \frac{h}{B} \right) - \lambda \cdot g \cdot m_k \cdot \frac{h}{B} \cdot \lambda.$$

По аналогії сумарна реакція під зовнішніми колесами:

$$R'_z = m_a \cdot \left(\frac{g}{2} + a_y \cdot \frac{h}{B} \right) + \lambda \cdot g \cdot m_k \cdot \frac{h}{B} \cdot \lambda,$$

де m_a - повна маса машини, кг;

m_k - маса кузова, кг;

a_y - прискорення центру мас, м/с²;

h - висота центру мас, м;

B – колія коліс.

Із наведених виражень видно, що зміна нормальних реакцій обумовлено моментом, викликаним інерційною силою p_k^y и креном кузова. Перший момент розподіляється між осями машини відповідно наведеним масам, а другий - обернено пропорційно кутовим жорсткості підвісок.

Нормальні реакції при криволінійному русі двухосної машини, з огляду на перерозподіл мас по осях машини і жорсткісні характеристики, визначаються за формулами:

$$R'_{z1} = \frac{b}{L} \cdot m_a \cdot \left(\frac{g}{2} + a_y \cdot \frac{h}{B} \right) + \lambda \frac{C_{\lambda 1}}{C_{\lambda}} \cdot g \cdot m_k \cdot \frac{h}{B} \cdot \lambda;$$

$$R''_{z1} = \frac{b}{L} \cdot m_a \cdot \left(\frac{g}{2} - a_y \cdot \frac{h}{B} \right) - \lambda \frac{C_{\lambda 1}}{C_{\lambda}} \cdot g \cdot m_k \cdot \frac{h_{\lambda}}{B};$$

$$R'_{z2} = \frac{a}{L} \cdot m_a \cdot \left(\frac{g}{2} + a_y \cdot \frac{h}{B} \right) + \lambda \frac{C_{\lambda 2}}{C_{\lambda}} \cdot g \cdot m_k \cdot \frac{h_{\lambda}}{B};$$

$$R''_{z1} = \frac{a}{L} \cdot m_a \cdot \left(\frac{g}{2} - a_y \cdot \frac{h}{B} \right) - \lambda \frac{C_{\lambda 2}}{C_{\lambda}} \cdot g \cdot m_k \cdot \frac{h_{\lambda}}{B}.$$

де $C_{\lambda 1}$ - кутова жорсткість підвіски передньої вісі, Н/рад;

$C_{\lambda 2}$ - кутова жорсткість підвіски задньої вісі, Н/рад;

C_{λ} - сумарна кутова жорсткість підвісок всіх вісей, Н/рад.

Результати розрахунку сумарних реакцій наведені в табл. 4.12.

Таблиця 4.12 – Результати розрахунків

$R'_{z1} \cdot 10^3$	4,408	4,842	5,277	5,712	6,146	6,581	7,015	7,45
$R''_{z1} \cdot 10^3$	3,538	3,104	2,669	2,235	1,8	1,365	0,93	0,496
$R'_{z2} \cdot 10^3$	5,347	5,837	6,328	6,819	7,31	7,801	8,291	8,782
$R''_{z1} \cdot 10^3$	4,365	3,874	3,384	2,893	2,402	1,911	1,421	0,929

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гришкевич А. И. Автомобили: теория: учебник для вузов / А. И. Гришкевич. – Минск: Высшая школа, 1986. – 208 с.
2. Литвинов А. С. Автомобиль: теория эксплуатационных свойств: учебник для вузов / А. С. Литвинов, Я. Е. Фаробин. – М. : Машиностроение, 1989. – 240 с.
3. Литвинов А. С. Управляемость и устойчивость автомобиля. / А. С. Литвинов – М. : Машиностроение, 1981.
4. Коденко М. Н., Великодний В.М. Инженерный практикум по комплексным расчетам в автотракторостроении. / М. Н. Коденко, В. М. Великодний. – Харьков, 1997.
5. Галимзянов Р. К. Теория автомобиля: учебное пособие. / Р. К. Галимзянов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. – 220 с.
6. Гладов Г. И. Специальные транспортные средства: теория: учебник для вузов / Г. И. Гладов, А. М. Петренко; под ред. Г. И. Гладова. – М. : ИКЦ «Академкнига», 2006. – 215 с.
7. Кравец В. Н. Теория автомобиля: учеб. пособ. / В. Н. Кравец. – Нижний Новгород: НГТУ, 2007. – 368 с.
8. Тракторы и автомобили / Под ред. В.А. Скотникова. – М. : Агропромиздат, 1985. – 440 с.
9. Смирнов Г. А. Теория движения колесных машин. / Г. А. Смирнов. – М. : Машиностроение, 1981 – 271 с.
10. Самородов В. Б. Конструкції автомобілів і тракторів та їх аналіз : Навч. посіб. / В. Б. Самородов, М. Є. Сергиєнко, В. М. Краснокутський – Харків : НТУ «ХПІ», 2018. – 359 с.

Навчальне видання

Керованість та стійкість руху автомобілів та тракторів

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до курсової роботи

для студентів спеціальності

133 «Галузеве машинобудування»

спеціалізації

133.01 Автомобілі і трактори

Укладач ОСТРОВЕРХ Олександр Олегович

Відповідальний за випуск проф. *В.Б. Самородов*

Роботу до видання рекомендував проф. *Д.О. Волонцевич*

В авторській редакції

План 2019 р., поз. 282

Підп. до друку 06.11.2019 Формат 30x84 1/16. Папір офсетний.

Riso-друк. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 1,9.

Наклад 50 прим. Зам. № 125. Ціна договірна

Друк ТОВ «Друкарня Мадрид»
61024, м. Харків, вул. Максиміліанівська, 11
Тел.: (057)756-53-25
www.madrid.in.ua info@madrid.in.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК №4399 від 27.08.2012 року